



DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-33

УДК 536.421:638.171

Nikolai Struchaiev, Ph.D. ORCID: 0000-0002-8891-4960
Kirill Samoichuk, DScTech ORCID: 0000-0002-3423-3510
Yulia Postol, Ph.D., ORCID: 0000-0002-0749-3771
Vladimir Yalpachik, DScTech ORCID: 0000-0002-0349-2448
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
Melitopol, Ukraine
E-mail: mykola.struchaiev@tsatu.edu.ua, тел: +38(098)-987-89-01

INVESTIGATION OF THE MELTING OF CRUSHED BEESWAX

Abstract. The article is devoted to increasing the efficiency and stability of beeswax melting by determining the size of the pieces, which allows to reduce energy consumption. The calculation of the melting time of the beeswax depending on the radius of its pieces was carried out on the basis of the joint solution of the heat balance and heat transfer equation using the Fourier criterion. The minimum and maximum sizes of beeswax pieces have been determined: 6 - 12 cm. A 6 cm piece of wax melts for 25-30 minutes, and when melting pieces larger than 15 cm, the melting time is 1.5-2 hours. Periodic stirring speeds up the melting process by increasing the heat transfer coefficient from the liquid, already melted wax by 8 times. It was found that when crushing less than 3.5-4.0 cm and melting in the presence of water, which is provided by the technology, a water-wax emulsion is formed, from which it is very difficult to isolate dry wax. be used in the design and selection of equipment. Empirical dependences of the melting time on the size of the wax pieces have been obtained.

Key words: efficiency, energy saving, beeswax, grinding value, heat energy consumption, melting time, melting temperature.

Formulation of the problem. The use of beeswax is of great importance in everyday life, industry, agriculture. Namely: in food, medicine, cosmetics, electrical, other industries and is a valuable export commodity [1]. The phase transition process - beeswax melting - is an important component of saving energy resources in the process of cleaning beeswax raw materials and its improvement is a very urgent problem [2].

Analysis of recent studies. The beeswax raw material contains a large amount of contaminants: scrapings of frames, merv, bee bread, various organic compounds, and so on [3,4]. The usual way to purify beeswax is to melt it, followed by sedimentation in a molten state, crystallization and removal of the sediment in the form of a layer of impurities [5]. It is possible



to significantly reduce the consumption of thermal energy for melting by its preliminary grinding [6-8]. In this case, the operating conditions of the thermal installation impose special requirements. The search for ways to improve the process of melting beeswax, its energy efficiency [9-12] plays an important role, since it allows you to reduce the cost of heat energy.

Formulation of the problem. The aim of the study is to establish the possibility of increasing the efficiency and stability of melting beeswax, by determining the size of the pieces, allowing to reduce the melting time and energy consumption.

Main part. The creation of temperature regimes at which it is possible to melt the wax must take into account its basic physical, mechanical and thermophysical properties. The calculation of the melting time of the wax, depending on the radius of its pieces, is performed on the basis of the joint solution of the heat balance and heat transfer equation using the Fourier criterion [6]. Melting time depending on the radius of the wax pieces:

$$\tau_{wax} = \frac{R_{wax}^2}{a_{wax}} \cdot Fo, \tag{1}$$

where τ_{wax} - beeswax melting time, s; R_{wax} - beeswax radius, m; a_{wax} - coefficient of thermal diffusivity of beeswax, m^2 / s ; Fo - Fourier criterion (dimensionless).

Let us find in turn the quantities included in formula (1).

Determine the coefficient of thermal diffusivity of beeswax:

$$a_{wax} = \frac{\lambda_{wax}}{c_{wax} \cdot \rho_{wax}}, \tag{2}$$

where a_{wax} - coefficient of thermal diffusivity of beeswax, m^2 / s ; λ_{wax} - coefficient of thermal conductivity of beeswax, $W / (m \cdot K)$, c_{wax} - heat capacity of beeswax, $J / (kg \cdot K)$, ρ_{wax} - beeswax density, kg / m^3 .

We write the initial data for the calculation in table 1.

Table 1.

Data for calculating the coefficient of thermal diffusivity of beeswax

№	Quantity, designation, units of measurement	Value
1	Thermal conductivity coefficient of wax, λ_{wax} , $W / (m \cdot K)$	0,225
2	Heat capacity of beeswax, c_{wax} , $J / (kg \cdot K)$	2930
3	Density of beeswax, ρ_{wax} , kg / m^3	960

Substituting the data into the formula (2), we get:

$$a_{wax} = 0,225 / (2930 * 960) = 7,99 * 10^{-8} m^2 / s.$$

Let us define the Fourier criterion by the formula [7]:



$$\begin{aligned}
 Fo = & \frac{q \cdot \rho_2 \cdot \omega}{c_1 \rho_1 (t_{melt} - t_s)} \left[\frac{Z}{Bi} + Z^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{Bi} \right) + \frac{1}{3} Z^3 \left(\frac{1}{Bi} - 1 \right) \right] + \\
 & + \frac{8c_2 \rho_2 (t_{cent} - t_{melt})}{15c_1 \rho_1 (t_{melt} - t_s)} \left[\frac{Z}{Bi} + Z^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2Bi} \right) + Z^3 \left(\frac{1}{Bi} - \frac{2}{3} \right) - \frac{1}{4} \left(\frac{1}{Bi} - 1 \right) Z^4 \right] + \quad (3) \\
 & + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{Bi} + \frac{1}{2} \right) \ln \left(1 + \frac{Bi \cdot Z}{1 - Z} \right) - \frac{1}{6 \left(\frac{1}{Bi} - 1 \right)^2} \ln [1 + Z(Bi - 1)] - \frac{2 - Bi}{6(1 - Bi)} Z + \frac{1}{6} Z^2
 \end{aligned}$$

where q - is the specific heat of melting of beeswax, J / kg; ρ_1, ρ_2 - is the density of the previous melting and subsequent solid beeswax layer, kg / m³; ω - humidity; c_1 and c_2 - specific heat of solid and molten beeswax layers, J / (kg • deg); Z - is the relative thickness of the melting layer; Bi - Bio criterion; t_{melt} - beeswax melting point, K; t_{cent} - temperature in the center of a piece of beeswax, K.

Bio criterion is determined by the formula:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} \quad (4)$$

Bio's criterion is calculated by finding the coefficient of heat transfer from the external environment α , since the coefficient of thermal conductivity of beeswax λ_{wax} is known to us, and we set the value of the radius R .

We determine the coefficient of heat transfer from the external environment α from the criterion dependencies:

$$Nu = \alpha \cdot R / \lambda_{\infty}, \quad (5)$$

The Nusselt criterion Nu is determined by the Reynolds Re and Prandtl Pr criteria when crushing beeswax in the form of a sphere, in accordance with the Rantze-Marshall equation:

$$Nu = 2 + 0,6 \cdot Pr^{1/3} \cdot Re^{1/2} \quad (6)$$

Let's define the Reynolds criterion:

$$Re = u \cdot R / \nu_{\infty}, \quad (7)$$

where Re - Reynolds criterion (dimensionless), u - air velocity, m / s, R - beeswax piece radius, m, ν - air kinematic viscosity coefficient, m² / s.

Let's define the Prandtl criterion:

$$Pr = c_{air} \rho_{air} / \lambda_{air}, \quad (8)$$

where Pr - Prandtl criterion (dimensionless), c_{air} - heat capacity of air, 1.01, J / (kg • K), ρ_{air} - air density at 80 °C, 1.00 kg / m³, λ_{air} - coefficient of thermal conductivity of air, 0.03 W / (m • K).

Substituting the values of these quantities into formulas (6), (7), (8), we obtain the Nusselt criterion $Nu = 37.81$, then the heat transfer coefficient



from the external environment α from formula (5) will be:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / R = 37,81 \cdot 0,03 / 0,06 = 18,9 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Heat transfer coefficient of molten beeswax

$$\alpha_{wax} = Nu \cdot \lambda_{wax} / R = 37,81 \cdot 0,225 / 0,06 = 142 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

where λ_{wax} - the coefficient of thermal conductivity of beeswax, W / (m • K),

That is, when the wax melts, the heat transfer coefficient will increase by 8 times. The density of beeswax averages 960 kg / m³ at 20 °C. As the temperature rises, the density of the wax decreases. The temperature coefficient of density at temperatures above the melting point of the beeswax varies from - 0.0007 to - 0.0008, for each degree of temperature.

The density of the wax at 84 °C will be:

$$\rho_{84} = \rho_{20} - \rho_{20} \cdot 0,00075 \cdot (84 - 20) = 960 - 960 \cdot 0,00075 \cdot (84 - 20) = 914 \text{ Kg / m}^3$$

The specific heat capacity of beeswax in the temperature range from 17 °C to + 20 °C is equal to 2096 kJ / (kg * K). The specific heat capacity of beeswax in the temperature range from 77 °C to 97 °C is 2309 kJ/(kg* K).

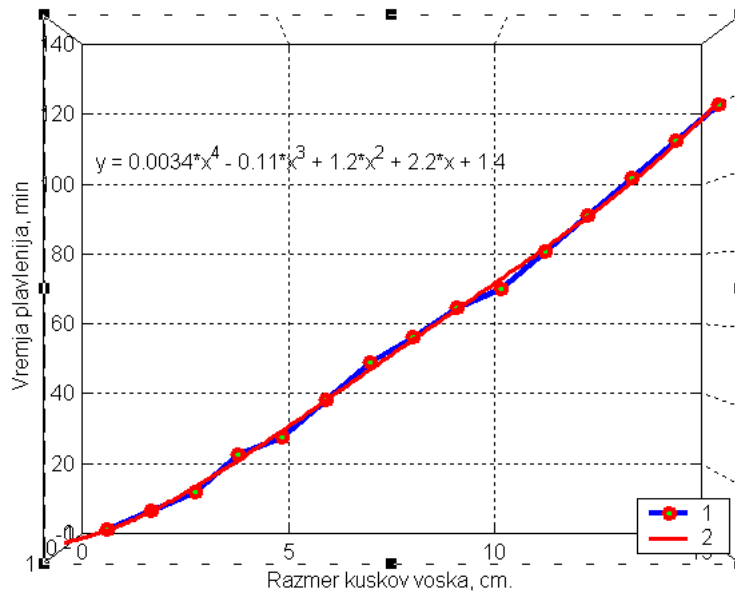
We write the initial data into table 2.

Table 2.

Data for calculating the melting time depending on the radius of the beeswax pieces

№	Quantity, designation, units of measurement	Value
1	Specific heat of fusion of beeswax, q , kJ / kg	200
2	Density of the previous melting wax layer, ρ_1 , kg / m ³	914
3	Density of the subsequent solid wax layer, ρ_2 , kg / m ³	960
4	Beeswax moisture W , %/100	0,1-2,5
5	Specific heat of the solid beeswax layer, c_1 , kJ / (kg * K)	2,026
6	Specific heat of molten beeswax, c_2 , kJ / (kg * K)	2,31
7	Relative thickness of the melting layer, Z -	1/60
8	Melting point of beeswax, t_{melt} , °C (K)	63 (336)
9	Temperature in the center of a piece of beeswax, t_{cent} , °C (K)	50 (323)
10	Thermal conductivity coefficient of beeswax, λ_{wax} , W / (m • K)	0,225
11	Prandtl criterion, Pr , -	0,7
12	Reynolds criterion, Re , -	600-1600
13	Air speed, u , m / s	1,5
14	Kinematic viscosity coefficient of air, ν , m ² / s	21*10 ⁻⁶
15	Heat transfer coefficient to external environment α , W/ (m ² •K)	5,73
19	Coefficient of thermal diffusivity of beeswax, a_{wax} , m ² / s	7,99*10 ⁻⁸

The calculation results are presented in the form of a graph (Fig. 1).



1 - according to the results of the experiment, 2 - approximating curve
Fig. 1. Dependence of melting time on the size of a piece of beeswax

The equation for the dependence of the melting time τ on the size R of a piece of beeswax:

$$\tau = 0,0034 \cdot R^4 - 0,11 \cdot R^3 + 1,2 \cdot R^2 + 2,2 \cdot R + 1,4. \quad (9)$$

In the experiments, the possibility of maximum grinding of the beeswax was checked, since in this case the time and consumption of thermal energy for melting the beeswax would be minimal. However, it was found that when grinding to 3.5-4.0 cm and melting in the presence of water, which is provided by the technology, a water-wax emulsion is formed, from which it is very difficult to separate dry beeswax (Fig. 2).



Fig. 2. Appearance of pieces of beeswax, crushed to 1 ... 5 mm (a), water-wax emulsion (b)

The size of the pieces, according to the calculations carried out according to the method and confirmed by experiments, should be in the



range of 6 - 12 cm, since with larger pieces too much heat energy is spent and the melting time is significantly increased.

A piece of beeswax 6 cm in size melts for 25-30 minutes, and when melting pieces of 15 cm in size, the melting time is 1.5-2 hours. Periodic stirring speeds up the melting process by increasing the heat transfer coefficient α_{wax} from the liquid, already melted beeswax ($\alpha_{wax \text{ melt}} = 142 \text{ W} / (\text{m}^2 * \text{K})$ instead of $18.9 \text{ W} / (\text{m}^2 * \text{K})$).

Unmelted pieces have a slightly higher specific gravity than molten beeswax, so they sink in liquid beeswax.

Conclusions.

1. One of the ways to improve the efficiency and stability of beeswax melting is its crushing. It was determined that the size of the pieces should be in the range of 6 - 12 cm. This makes it possible to reduce the melting time and energy consumption, since with an increase in the size of the pieces, the melting time significantly increases.

2. A piece of beeswax 6 cm in size melts for 25-30 minutes, and when melting pieces of more than 15 cm in size, the melting time is 1.5-2 hours.

3. Periodic stirring accelerates the melting process by increasing the heat transfer coefficient from the liquid, already melted beeswax by 8 times.

4. When grinding to a piece size of less than 3.5-4.0 cm and melting in the presence of water, as provided by the technology, a water-wax emulsion is formed, from which it is very difficult to separate dry beeswax.

References

1. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux. 2020. Pp. 478-480.

2. Serebryakova N. Use of threedimensional computer visualization in the study of nanostructures. Мінск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.

3. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference*. 2019. Pp. 18–20

4. Boltianska, N., Manita, I., Podashevskaya, H. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine, *Engineering of nature management*. 2020. 2(16), pp. 33-37.

5. Manita I., Podashevskaya H. Areas of application of nanotechnologies in animal husbandry. 2020. С. 357-361.

6. Sklar R. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Rome. 2021. Pp. 171-176.

7. Serebryakova N., Podashevskaya H., Manita I. Selection of optimal



modes of heat treatment of grain. 2020. С. 20-24.

8. Boltianska N.I., Boltianskyi O.V., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. 2021. P.1. С. 27-29.

9. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Bilbao 2020. Pp. 431- 433.

10. Boltianska N. I., Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7 – 12.

11. Lebedev, V.I. (1999). Tehnologija poluchenija voska i pererabotki voskovogo syr`ja na pasekah. [Technology for producing wax and processing wax raw materials in apiaries] / Research Institute of Beekeeping (NIIP) Rybnoe, Ryazan region. Rybnoe: NIIP, 7.12.

12. Nekrashevich, V.F. Issledovanie teplofizicheskikh i reologicheskikh svojstv voskovogo syrja i voska. [Study of the thermophysical and rheological properties of wax raw materials and wax]. *Materials of the online conference*. P. 102-111.

13. GOST 21179-2000. Vosk pchelinnij. Tehnicheskie uslovija [GOST 21179-2000. Beeswax. Specifications]. (2011). Moskow. URL: <https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4294815/4294815050.pdf>.

14. Nekrashevich, V.F. (2014). Issledovanie protsessa vytopki voska. [Investigation of the process of wax waxing]. *Beekeeping*, 3, pp. 50–51.

15. Byshov, N.V. (2015). Issledovanie protsessa poluchenija voska iz voskovogo syr`ja razlichnogo kachestva. [Investigation of the process of obtaining wax from wax raw materials of various quality]. *Bulletin of the KrasSAU*, 9, pp. 145–149.

16. Didur, V.A., Struchaiev, M.I. (2008). Teplotekhnika, teplopostachannya i vykorysyannya teploty v sil`skomu gospodarstvi [Heat engineering, heat supply and heat using in agriculture.]. Kiev: Agrarna osvita.

17. Struchaiev, N., Postol, Yu., Stopin, Yu., Borokhov, I. (2019). Determination of the Duration of Spherical-Shaped Berries Freezing Under the Conditions Stationary Heat Flow. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_42.

18. Struchaiev, N.I. (2015). Opredelenie kolichestva teploty pri zamorazhyvanii i razmorazhyvanii [Determination of the amount of heat during freezing and defrosting]. *News of the Kharkiv National Technical University of Agriculture*, 2, pp. 130-131.

19. Yalpachik, V.F., Yalpachik, F.E., Struchayev, N.I. (2013). Teplofizicheskije raschjoty pri zamorazhyvanii i djefrostatsii plodoovoshchnoj produktsii [Thermophysical calculations during freezing and defrosting fruits and vegetables products]. *Proceedings of the Tavrian*



State Agrotechnological University, 13, 1, pp. 196-204.

20. Struchaiev, N.I., Postol, Yu.O. (2017). Analiz termodynamichnykh protsesiv u pototsi povitrya [Analysis of thermodynamic processes in airflow]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. P.Vasylenka*, 187, pp. 28-29.

21. Yalpachik, V.F., Struchaiev, M.I., Verholantseva, V.O. (2015). Planuvannya eksperymental'nyh doslidzhen` protsesu okholodzhennya zerna. [Planning of experimental researches of process of cooling of grain]. *Proceedings of the TDATU*, 15, 1, pp. 3-8.

Стаття надійшла до редакції 11.05.2021р.

М.І. Стручаєв, К.О. Самойчук, Ю.О. Постол, В.Ф. Ялпачік
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВЛЕННЯ ДРОБЛЕНОГО ВОСКУ

Анотація

Стаття присвячена підвищенню ефективності і стабільності плавлення воску, шляхом визначення величини шматків, яка дозволяє знизити енерговитрати. Одним із шляхів підвищення ефективності і стабільності плавлення воску є його дроблення. Для забезпечення рівномірного плавлення і відповідного дозування витрати теплової енергії запропоновано теоретичне і експериментальне визначення впливу розмірів шматків воску на тривалість процесу плавлення. Розрахунок часу плавлення воску в залежності від радіуса його шматків виконувався на основі спільного рішення рівняння теплового балансу і теплопередачі з використанням критерію Фур'є. Для визначення коефіцієнта температуропровідності воску складена таблиця обліку його основних фізико-механічних і теплофізичних властивостей. Критерій Біо визначали шляхом знаходження коефіцієнта тепловіддачі від зовнішнього середовища, при цьому коефіцієнт теплопровідності воску нам відомий. Визначено мінімальні і максимальні розміри шматків воску. Визначено, що розмір шматків повинен бути в діапазоні 6 - 12 см. Це дозволяє знизити час плавлення і енерговитрати, так як при збільшенні розміру шматків значно збільшується час плавлення. Шматок воску розміром 6 см плавиться 25-30 хвилин, а при плавленні шматків розміром більше 15 см час плавлення становить 1,5-2 години. Визначено коефіцієнт тепловіддачі від воску в зовнішнє середовище дорівнює $5,73 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а коефіцієнт температуропровідності воску: $7,99 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. Проводить періодичне перемішування прискорює процес плавлення за рахунок збільшення коефіцієнта тепловіддачі від рідкого, вже розплавився воску в 8 разів. В експериментах перевірялася можливість максимального подрібнення воску, так як при цьому час і витрати теплової енергії на плавлення воску будуть мінімальними. Однак було виявлено, що при подрібненні до 3,5-4,0 см і плавленні у присутності води, що передбачено технологією, утворюється водно-воскова емульсія, з якої дуже важко виділити сухий віск. Запропонована методика теплового розрахунку визначення часу плавлення воску і експериментальна установка можуть бути використані при проектуванні та підборі обладнання. Отримано емпіричні залежності часу плавлення від розмірів шматків воску.



Ключові слова: ефективність, енергозбереження, віск, величина подрібнення, витрати теплової енергії, час плавлення, температура плавлення.

Н.И. Стручаев, К.О. Самойчук, Ю.А. Постол, В.Ф. Ялпачик
Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ ДРОБЛЕННОГО ВОСКА

Аннотация

Статья посвящена повышению эффективности и стабильности плавления воска, путем определения величины кусков, позволяющей снизить энергозатраты. Расчёт времени плавления воска в зависимости от радиуса его кусков выполнялся на основе совместного решения уравнения теплового баланса и теплопередачи с использованием критерия Фурье. Определены минимальные и максимальные размеры кусков воска: 6 – 12 см. Кусок воска размером 6 см плавится 25-30 минут, а при плавлении кусков размером более 15 см время плавления составляет 1,5-2 часа. Периодическое перемешивание ускоряет процесс плавления за счет увеличения коэффициента теплоотдачи от жидкого, уже расплавившегося воска в 8 раз. Было обнаружено, что при измельчении до 3,5-4,0 см и плавлении в присутствии воды, что предусмотрено технологией, образуется водно-восковая эмульсия, из которой очень трудно выделить сухой воск. Предложенная методика теплового расчета определения времени плавления воска и экспериментальная установка могут быть использованы при проектировании и подборе оборудования. Получены эмпирические зависимости времени плавления от размеров кусков воска.

Ключевые слова: эффективность, энергосбережение, воск, величина измельчения, затраты тепловой энергии, время плавления, температура плавления.